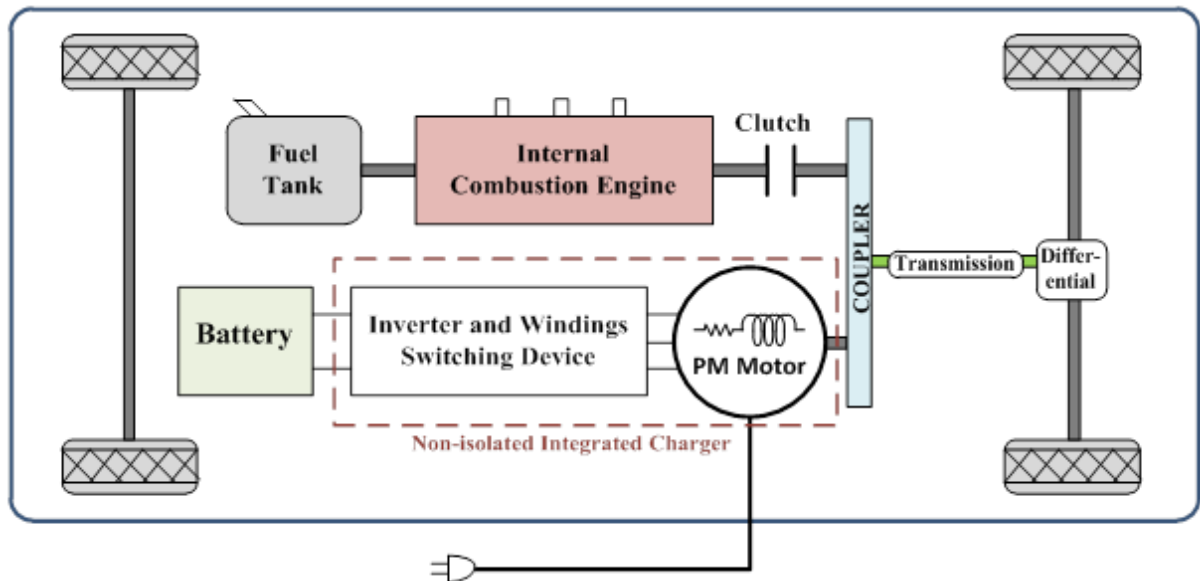


RESUMEN DEL PROYECTO FINAL DE CARRERA



Non-Isolated Integrated Motor Drive and Battery Charger Based on the Split-Phase PM Motor for Plug-in Vehicles

Master of Science Thesis in Electric Power Engineering

Isabel Serrano Guillén

Álvaro Bermejo Fernández

Department of Energy and Environment
Division of Electric Power Engineering
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden, 2013

DATOS DE INTERÉS

AUTORES:

Isabel Serrano Guillén

Álvaro Bermejo Fernández

TÍTULO DEL PROYECTO:

Non-Isolated Integrated Motor Drive and Battery Charger Based on the Split-Phase PM Motor for Plug-in Vehicles

UNIVERSIDAD DONDE SE HA REALIZADO:

Chalmers University of Technology, SE - 421 96, Göteborg, Sweden

Teléfono: + 46 (0)31-772 1000

COORDINADOR EN UNIVERSIDAD DE DESTINO:

Saeid Haghbin

EXAMINADOR EN UNIVERSIDAD DE DESTINO:

Ola Carlson

COTUTOR EN UC3M:

Julio Usaola García

FECHA DE PRESENTACIÓN:

05/06/2013

TRIBUNAL:

Examinador: Ola Carlson

Coordinador: Saeid Haghbin

Oposición: Dimitrios Stellas

CALIFICACIÓN:

10 sobre 10

ÍNDICE

DATOS DE INTERÉS.....	ii
ÍNDICE	iii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Propósitos y contribuciones del proyecto.....	1
Capítulo 2. Cargador integrado.....	1
2.1 Control del cargador.....	3
Capítulo 3. Motor de imanes permanentes de fase dividida	4
3.1. Motor de 2 kW	4
3.2. Motor de 20 kW	5
Capítulo 4. Implementación práctica del cargador integrado no aislado	5
4.1. Principal estructura del montaje experimental	6
4.2. Controlador CompactRIO	7
4.3. Resultados de los experimentos	7
4.3.1. Cargador integrado basado en un motor de 2 kW	7
4.3.2. Cargador integrado basado en un motor de 20 kW	8
Capítulo 5. Conclusiones y Trabajo Futuro	10
5.1. Conclusiones	10
5.2. Trabajo futuro.....	10

Capítulo 1. Introducción

Hoy en día los vehículos eléctricos e híbridos están siendo muy desarrollados en las compañías y ya que uno de los principales retos es la batería, numerosos estudios se están llevando a cabo para mejorar esta tecnología.

La reducción del coste, espacio y tamaño de la batería son los principales objetivos. Para lograr esto, la propuesta es usar los elementos usados durante el modo de tracción, es decir, el inversor y el motor, en el modo de carga. Se usará un motor de imanes permanentes con fase dividida, es decir, con doble set de bobinas por fase, que permite cambiar la configuración del motor de carga a tracción a través de un interruptor.

1.1. Propósitos y contribuciones del proyecto

El principal propósito es verificar de una manera práctica el funcionamiento de un cargador integrado y no aislado basado en diferentes configuraciones en las bobinas del motor. Las principales contribuciones se pueden resumir de la siguiente manera:

- Test del control a través de dos experimentos con dos diferentes motores de imanes permanentes con diferentes bobinados, demostrando su funcionamiento como batería.
- Mejora del sistema de control, programado en Labview y implementado en el controlador CompactRio para desarrollar de forma eficiente el control de la batería.
- S. Haghbin, I. Serrano Guillén, “Integrated motor drive and non-isolated battery charger based on the torque cancellation in the motor,” *IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, 2013.
- S. Haghbin, R. Ghorbani, A. Bermejo Fernández, I. Serrano Guillén, “An Integrated Motor Drive and Battery Fast Charger Station for Plug-in Vehicles,” *XIII Spanish-Portuguese Conference on Electrical Engineering(XIII CHLIE)*, 2013.

Capítulo 2. Cargador integrado

Los coches eléctricos e híbridos usan la red para cargar la batería mientras están aparcados. Normalmente los componentes del circuito de tracción no se usan durante el tiempo de carga, así que existe la posibilidad de usarlos en el circuito de carga para reducir el volumen del sistema, el peso y el coste. A esto se le llama cargador integrado.

La principal idea de usar un cargador integrado es aprovechar el inversor y el motor del circuito de tracción en el circuito de carga. Fig. 2.1 muestra el circuito simplificado de tracción, donde se pueden ver el inversor y el motor. El motor usado durante el modo de carga

representará unas bobinas. Fig. 2.2 muestra el diagrama de un cargador integrado dentro de un vehículo, donde además se puede ver la rama de combustión. El inversor será conectado a la red a través del motor durante el modo de carga.

El principal problema de conectar el inversor a través del motor en el estado de carga es que se desarrolla un par en el motor debido a las corrientes circulando por las bobinas. El motor comenzará a rotar o vibrar si el par no está controlado. Por lo tanto, mantener el motor en estado de par cero es uno de los más importantes criterios en un cargador integrado.

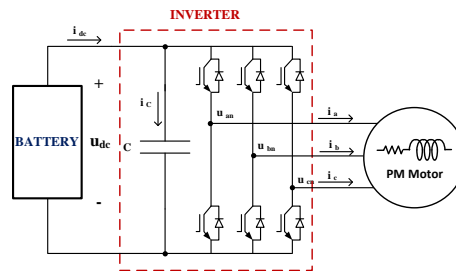


Figura 2.1: Típico circuito eléctrico de tracción en aplicaciones para vehículos.

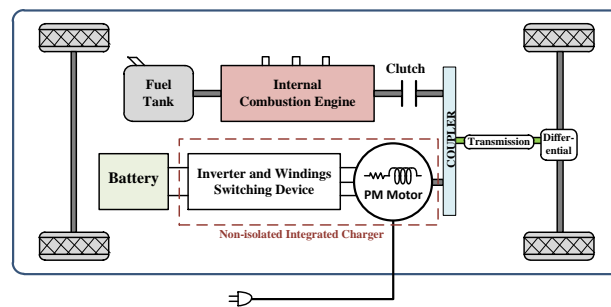


Figura 2.2: Principal diagrama de un cargador integrado no aislado dentro de un vehículo.

Para evitar cualquier rotación del rotor durante el tiempo de carga, el cargador integrado está basado en una espacial configuración en el bobinado del motor de imanes permanentes para imponer la condición de par cero y mantener el motor parado. Con este reconfigurado de las bobinas, el motor representará unas inductancias y resistencias entre la red y el inversor.

El inversor actuará como un controlador trifásico. Fig. 2.3 muestra el diagrama de un sistema de carga, con el motor y el inversor del circuito de tracción. El lado de la batería es controlado por el inversor que actúa como un controlador rectificador PWM que controla la tensión continua (DC), y por lo tanto la potencia transmitida a la batería.

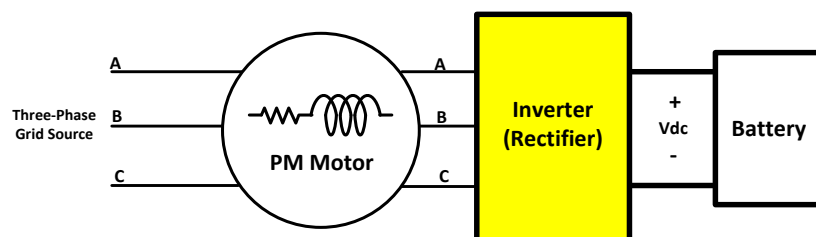


Figura 2.3: Simple diagrama del cargador integrado propuesto en modo de carga.

Dado que el nivel de voltaje de la batería debe ser alto, normalmente entre 200 a 600 V para tener una adecuada operación en el modo de tracción, una topología de Boost rectificador es usada en el modo de carga.

2.1 Control del cargador

Para el control del PWM Boost rectificador usado en el descrito cargador integrado se usa el método del control de voltaje orientado (voltaje-oriented control, VOC). El VOC representa un método de alta eficiencia para el estado de control en rectificadores controlados. Se basa en una serie de transformaciones desde el sistema de referencia trifásico abc hasta un sistema de referencia de rotación síncrona dq, a través de un sistema estacionario de dos fases $\alpha\beta$.

La primera transformación es de abc hasta $\alpha\beta$, y se llama transformación de Clarke. En este caso, el grado de libertad se reduce de tres a dos, pero en el sistema $\alpha\beta$ las variables siguen rotando, así que se hace una segunda transformación para mantener las variables constantes, llamada de Park, hasta el sistema dq.

Fig. 2.5 muestra el principal diagrama del sistema. Una vez que las variables son transformadas se lleva a cabo el control a través de una estrategia desacoplada (decoupled control), donde hay tres controladores PI, uno para el voltaje y dos para las corrientes, y con los valores de referencia obtenidos se hace la anti transformación y se genera el patrón para los interruptores del inversor, controlando así el sistema.

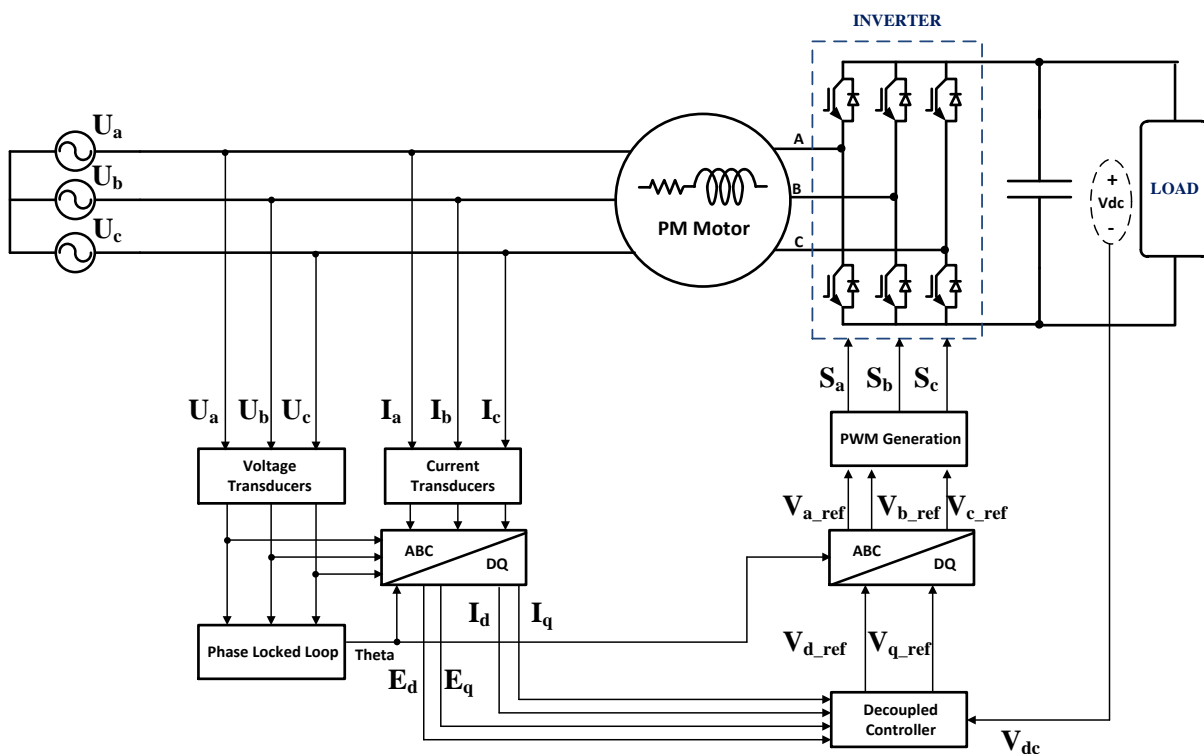


Figura 2.5: Diagrama del esquema de control de voltaje orientado usado.

Capítulo 3. Motor de imanes permanentes de fase dividida

Un motor de fase dividida tiene un doble set de bobinas desfasadas por fase. Cada bobina de un motor de fase partida es dividida en dos partes equivalentes y desfasadas simétricamente alrededor de la geometría del estator.

Como se explicó anteriormente, la condición de mantener el motor parado durante el tiempo de carga es uno de los retos más importantes del cargador integrado propuesto. Una de las soluciones propuestas, y que se estudiará en este proyecto, es usar el motor de fase dividida como inductancias y a través de los puntos intermedios de las bobinas del motor conseguir la condición de par cero, reconfigurando las conexiones de las bobinas para cancelar los flujos mutuos con ella.

Para estudiar el comportamiento del motor en los experimentos, varias configuraciones en el bobinado del motor se probaron y midieron usando dos diferentes máquinas de imanes permanentes, una de 2 kW y otra de 20 kW.

3.1. Motor de 2 kW

El motor de imanes permanente de 2 kW tiene 6 polos y una velocidad nominal de 1000 rpm. Fig. 3.1 muestra un esquema de su geometría y las conexiones de bobinado usadas.

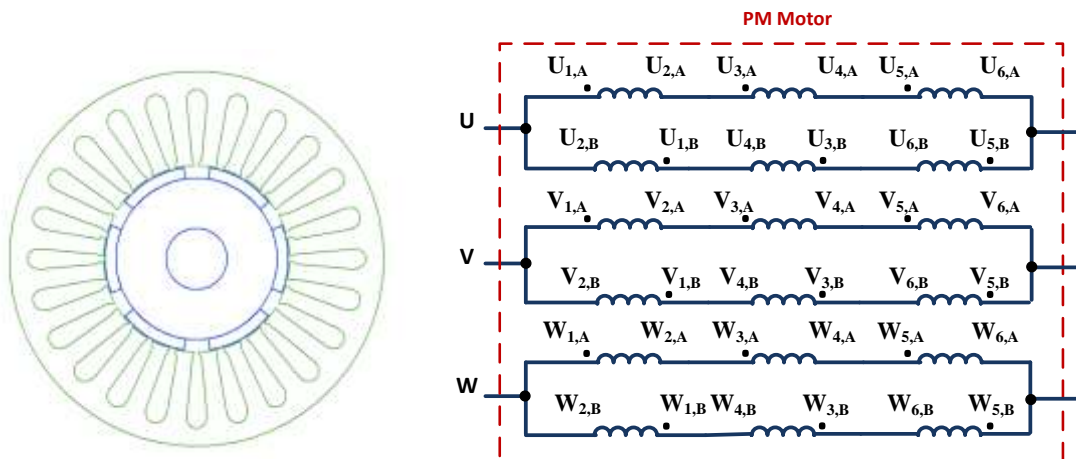


Figura 3.1: Geometría del motor de 2 kW y configuración de las bobinas usada.

Tras medir diferentes configuraciones (todas ellas cumplían la condición de par cero, es decir, el motor permanecía parado), una en serie y dos en paralelo, se ha elegido la mostrada en Fig. 3.1 debido a que es paralelo, es decir, cada fase puede soportar el doble de corriente, y en el caso usado, el valor de la inductancia equivalente por fase es el mayor, 4.64 mH, ya que para el montaje experimental la máquina debe tener el valor más alto que sea posible. Este valor de la inductancia equivalente por fase es constante y no depende de la posición del rotor.

3.2. Motor de 20 kW

El motor de imanes permanentes interiores de 20 kW tiene 4 polos y una velocidad nominal de 1500 rpm. Fig.3.2 muestra su geometría y la conexión de las bobinas escogida para el experimento.

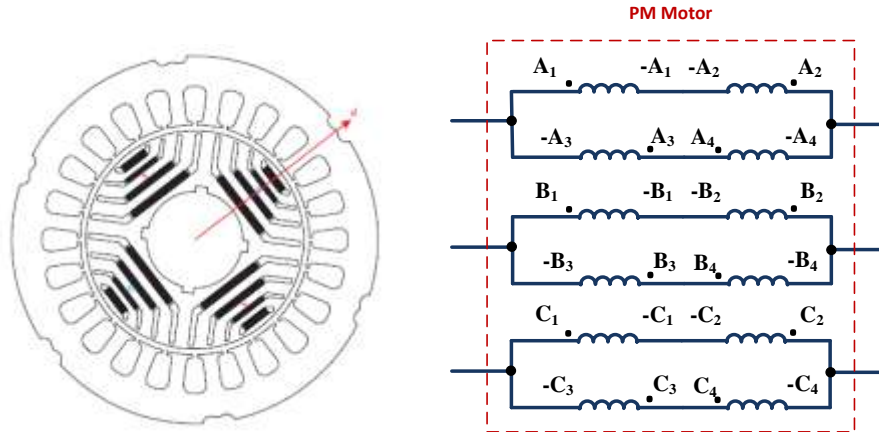


Figura 3.2: Geometría del motor de 20 kW y configuración de las bobinas usada.

Al igual que en el caso anterior escogemos una configuración en paralelo con una inductancia equivalente de 6.6 mH, que en este caso variará con la posición del rotor, hecho que afectará al control del sistema. Además durante la toma de medidas de los parámetros de la máquina, ésta comenzó a emitir un sonido audible y a vibrar a altas tensiones, por lo que condicionará el experimento posterior.

Capítulo 4. Implementación práctica del cargador integrado no aislado

Para comprobar el correcto funcionamiento del cargador integrado no aislado con la configuración especial del bobinado del motor de fase dividida, se llevan a cabo dos experimentos en el laboratorio con los dos diferentes motores.

El primer montaje experimental usa el motor de 2 kW con la configuración en paralelo descrita, como muestra Fig. 4.1.

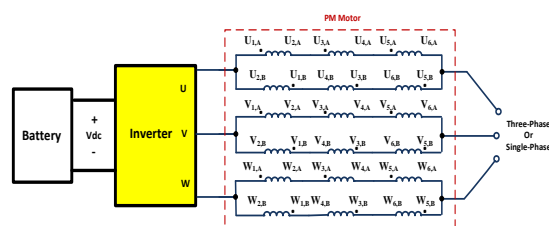


Figura 4.1: Configuración usada en el montaje experimental para el motor de 2 kW.

En Fig. 4.2 se puede ver el segundo montaje, con el motor de 20 kW.

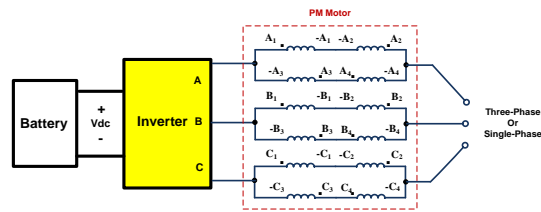


Figura 4.2: Configuración usada en el montaje experimental para el motor de 20 kW.

4.1. Principal estructura del montaje experimental

Fig. 4.3 muestra la principal estructura del montaje experimental. Las partes más importantes del sistema son el motor, el inversor, los interruptores (en una caja), la caja de medidas, el controlador, y la carga, que representará el papel de batería. Fig. 4.4 muestra el montaje real en el laboratorio.

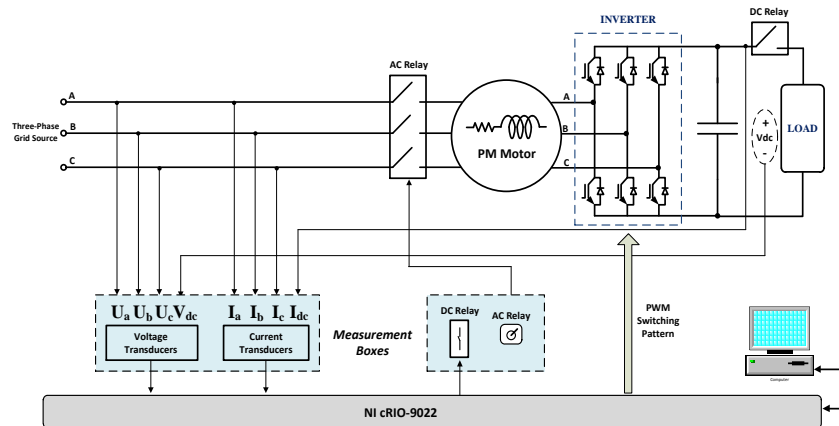


Figura 4.3: Esquema de la estructura del montaje experimental usado.

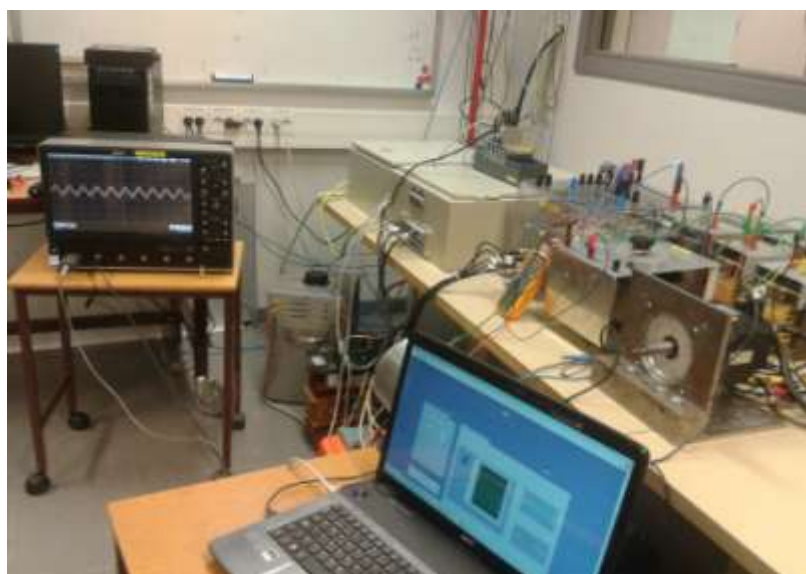


Figura 4.4: Montaje experimental en el laboratorio.

4.2. Controlador CompactRIO

El control del sistema se lleva a cabo en el CompactRIO 9022, un controlador de tiempo real de National Instruments. El controlador se divide principalmente en dos partes.

La primera parte consiste en un controlador integrado, basado en un procesador de 500 MHz usado para realizar las operaciones más complejas, y una FPGA con un reloj interno de 40 MHz usado para realizar las operaciones más rápidas dentro del proceso de control. La segunda parte está constituida por módulos separados usados como salidas y entradas en el proceso de control.

La programación del controlador CompactRIO está completamente desarrollada en Labview, y dividida en diferentes tareas, entre la FPGA y el bloque procesador, con el objetivo de hacer el control más eficiente.

En la FPGA, se implementan las tareas que requieren alta velocidad. Estas tareas son principalmente, la generación de la onda triangular de 10 kHz, la adquisición de datos y la generación de la señal trifásica PWM.

Debido a que la FPGA tiene recursos limitados, todo el control no se puede implementar en ella. Por eso, las tareas más complejas son programadas en el bloque procesador dentro del procesador CompactRIO, estas operaciones son la transformación dq y la implementación del control desacoplado (decoupled control).

4.3. Resultados de los experimentos

4.3.1. Cargador integrado basado en un motor de 2 kW

El montaje experimental explicado previamente (Fig. 4.1) es alimentado con un voltaje de 75 V y el controlador fija la tensión en el lado DC en 100 V. Dado que la carga es 50 Ohmios, la potencia con la que la batería será cargada es 200 W.

Uno de los propósitos del control es cargar la batería con factor de potencia unidad, y para conseguir esto se fija el valor de α a cero. Fig. 4.5 muestra como las corrientes tienen una forma sinusoidal, ya que la componente q de la corriente es cero, y por lo tanto la componente d corresponderá al valor pico de la corriente. Este valor es aproximadamente 4 A. Además en esta figura se observa como la condición de factor de potencia unidad se cumple, ya que el desfase entre la corriente y la tensión en la fase A es nulo.

También fueron tomadas la tensión que cae en las inductancias de la máquina, y en Fig. 4.6 se muestra como están en fase, es decir, que cumplen la condición de factor de potencia unidad y tiene una forma sinusoidal.

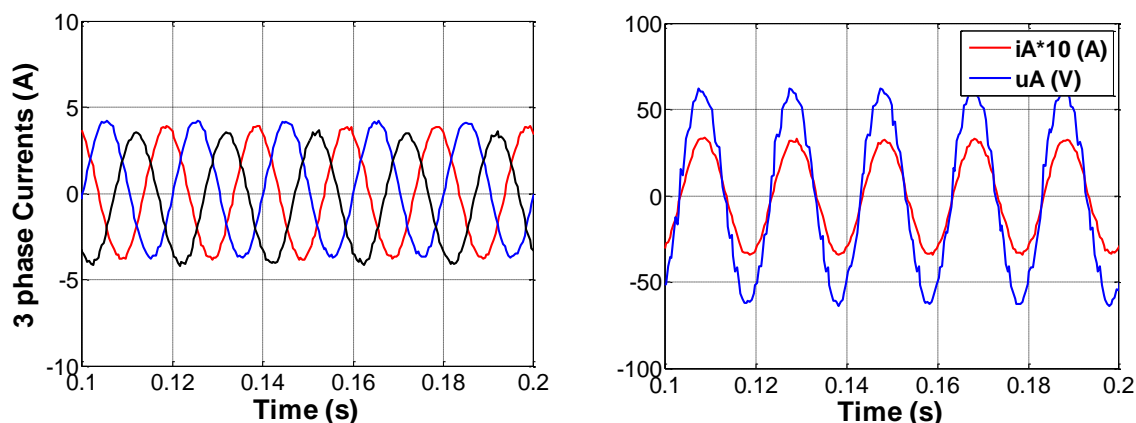


Figura 4.5: Corrientes trifásicas y corriente y voltaje de la fase A durante el tiempo de carga (motor de 2 kW).

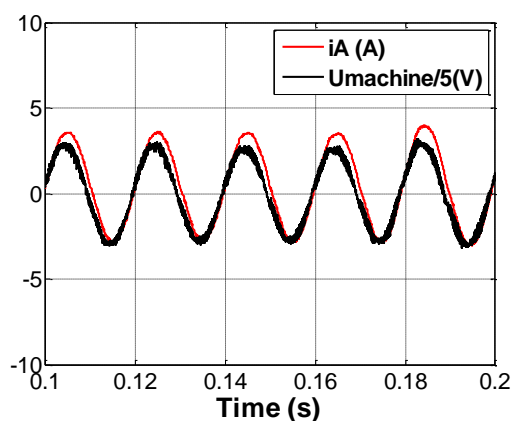


Figura 4.6: Caída de tensión y corriente en las bobinas del motor durante el tiempo de carga (motor de 2 kW).

4.3.2. Cargador integrado basado en un motor de 20 kW

El experimento del cargador integrado fue realizado también con el motor de 20 kW explicado en el capítulo 3, usando el montaje descrito en Fig. 4.2. Como en el caso anterior, es alimentado con un voltaje de 75 V y la potencia con la que la batería será cargada es 200 W.

El estado de control en este experimento presenta algunas dificultades, debido principalmente al perfil de las inductancias de la máquina, que en este caso dependen de la posición del rotor.

Como en el caso anterior, uno de los propósitos es que la batería cargue con factor de potencia unidad y se consigue imponiendo que θ valga cero. Fig. 4.7 muestra como las corrientes tienen una forma sinusoidal, ya que la componente q de la corriente es cero, y por lo tanto la componente d corresponderá al valor pico de la corriente. Este valor es aproximadamente 3 A. Además en esta figura se observa como la condición de factor de potencia unidad se cumple, ya que el desfase entre la corriente y la tensión en la fase A es nulo.

Al igual que para el motor de 2 kW también fueron tomadas la tensión de caída en las inductancias de la máquina. Fig. 4.8 se muestra como, en este caso, hay un pequeño desfase debido a que el valor de la resistencia equivalente en este motor el más bajo que en el caso anterior. Este desfase corresponde a un ángulo de 18 grados por lo que podemos considerar que se cumple la condición de factor de potencia unidad y además como se observa, tienen una forma sinusoidal.

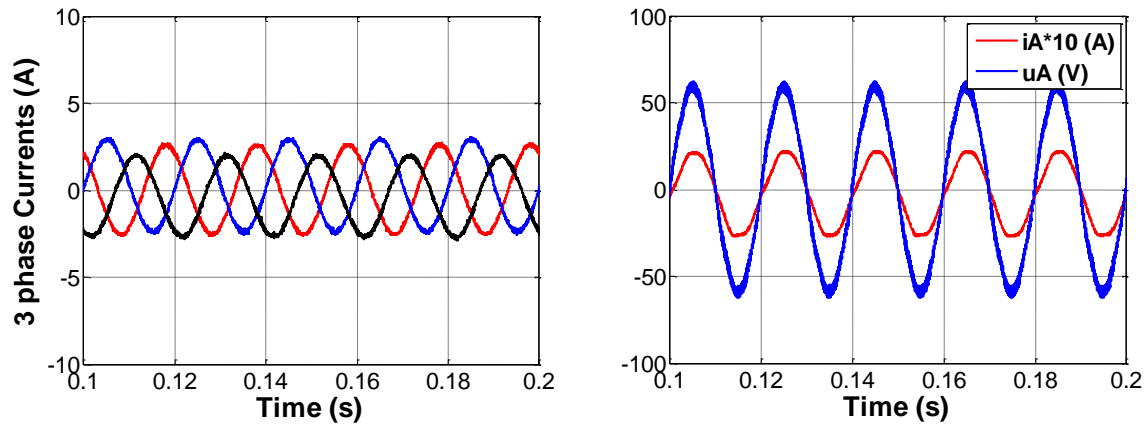


Figura 4.7: Corrientes trifásicas y corriente y voltaje de la fase A durante el tiempo de carga (motor de 20 kW).

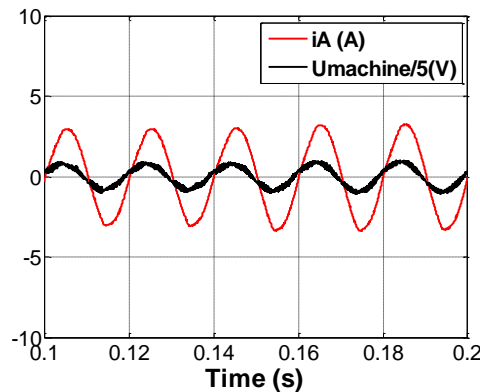


Figura 4.8: Caída de tensión y corriente en las bobinas del motor durante el tiempo de carga (motor de 20 kW).

Capítulo 5. Conclusiones y Trabajo Futuro

5.1. Conclusiones

Una bacteria no aislada basada en un motor de imanes permanentes y fase dividida con aplicación para vehículos eléctricos e híbridos es implementada y probada en esta tesis.

Diferentes conexiones en las inductancias de la máquina durante el modo de carga son analizadas. En estas configuraciones, el flujo mutuo se cancela, por lo que el par creado es cero, manteniendo el motor parado en el modo de carga.

Además, trabajando con las simulaciones de trabajos previos, el propuesto cargador integrado usando dos motores de imanes permanentes con diferentes configuraciones en sus inductancias es implementado en el laboratorio. El control del cargador fue llevado a cabo por el controlador CompactRIO. El sistema de control, además, fue mejorado y modificado durante los experimentos con el objetivo de hacerlo más eficiente.

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que el sistema trabaja de forma satisfactoria en régimen permanente para una carga de 200 W y los requerimientos de factor de potencia unidad y formas sinusoidales son también alcanzados.

5.2. Trabajo futuro

El principal reto para mejorar el modelo propuesto es la mejora del sistema de control, intentando conseguir un control más rápido y estable. De esta manera podríamos eliminar las inductancias extras en el montaje experimental, y así tener un modelo más realista.

Dado que el control de la corriente tiene unos resultados no del todo satisfactorios, una posible solución sería implementar el control en otro controlador como dSpace.

Además el hardware usado en el laboratorio limita las altas corrientes y tensiones. Otra mejora sería el cambio de este hardware, que supondría poder realizar experimentos a mayor potencia, y por lo tanto más reales.